Towards Mathematical Sciences

Vol. 2, No. 1, Spring and Summer 2022, pp. 17–30

DOI.10.22067/tmsj.2021.41432

Expository Article

به سوی علوم ریاضی

PROJECT CONTROL, PROJECT MANAGEMENT, AND NETWORK PLANNING

AMIN MANSOORI[1]

Dedicated to the memory of the late Professor Hamed Reza Tareghian

[1]Faculty of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, IRAN
am.ma7676@yahoo.com; a-mansoori@mail.um.ac.ir

Abstract. Project control is one of the most important research topics in science and engineering that is closely related to management. In this paper, we introduce project control and project management and explain their differences. We try to describe project control in networks. In this case, we give a brief overview of precedence networks, probabilistic networks, and graphical evaluation and review networks. For planning with limited resources, we will study PERT and GERT networks. Finally, we will introduce the two softwares that are used to solve project control problems and examine their differences.

2020 Mathematics Subject Classification. 93B70

Keywords. Project control, project management, network planning, PERT network, GERT network

Date: Rceived 2-1-2021 Revised 5-11-2021 Accepted 10-11-2021 Available Online 7-12-2021.

دوره ۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱، صص. ۳۰–۱۷
DOI. 10.22067/tmsj.2021.41432
مقاله علمی-ترویجی

کنترل پروژه، مدیریت پروژه و برنامه‌ریزی شبکه‌ای

امین منصوری[۱]
با گرامیداشت یاد استاد مرحوم جناب آقای دکتر حامدرضا طارقیان

[۱] گروه ریاضی کاربردی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد
am.ma7676@yahoo.com; a-mansoori@mail.um.ac.ir

چکیده. کنترل پروژه یکی از مهم‌ترین مباحث پژوهشی در علوم و مهندسی است که ارتباط نزدیکی با مدیریت دارد. در این مقاله کنترل پروژه و مدیریت پروژه را مورد بررسی قرار می‌دهیم و تفاوت‌های آن‌ها را بیان می‌کنیم. سعی بر آن است که کنترل پروژه در شبکه‌ها را توصیف کنیم. در این راستا شبکه‌های تقدم و تأخر، شبکه احتمالی و شبکه‌های با بازنگری گرافیکی را به طور اجمالی توضیح می‌دهیم. برای برنامه‌ریزی با منابع محدود شبکه‌های پرت و گرت را مطالعه خواهیم کرد. در نهایت دو نرم افزار که برای حل مسائل کنترل پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند را معرفی و تفاوت‌های آن‌ها را بررسی خواهیم نمود.

۱. پیش‌گفتار

مدت‌ها در پی مرور مباحث کنترل پروژه بودم و هرازچندگاهی کتب کنترل پروژه و موضوعات مرتبط را تورق کرده و مطالبی از این طرف و آن طرف جمع‌آوری می‌کردم. از طرفی فقدان استاد بزرگوار جناب آقای دکتر حامدرضا طارقیان بسیار سخت بود. در این فقدان در پی فرصتی بودم که بتوانم ارادت خود را خدمت ایشان نشان دهم و این موضوع انگیزه اصلی در نگارش این مقاله بود. گفتار حاصل نتیجه جمع‌آوری و تنظیم آن مطالب بود. امید که ذره‌ای از زحمات استاد مرحوم را جبران نموده و یاد ایشان را گرامی بداریم.

2020 Mathematics Subject Classification. 93B70.

کلید واژگان. کنترل پروژه، مدیریت پروژه، برنامه‌ریزی شبکه‌ای، شبکه پرت، شبکه گرت.
تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۱۰/۱۳ بازنگری ۱۴۰۰/۸/۱۴ پذیرش ۱۴۰۰/۸/۱۹ انتشار برخط ۱۴۰۰/۹/۱۶

نحوه ارجاع به این مقاله: ا. منصوری، کنترل پروژه، مدیریت پروژه و برنامه‌ریزی شبکه‌ای، به سوی علوم ریاضی، ۲ (۱۴۰۱)، شماره ۱، ۳۰–۱۷.

در کشورهای مختلف و حتی در ارگان‌های گوناگون هر کشور در مورد واژه‌های برنامه، طرح یا پروژه، اختلافات معنایی و قانونی وجود دارد؛ از این رو تعاریف و ساختارهای آنان ملموس و مشخص نیست و گاه به جای یکدیگر نیز استفاده می‌شوند. آرمان‌ها و اهداف تعیین‌شده حکومت در سطح برنامه‌ریزی بلند مدت یا استراتژیك، برنامه نامیده می‌شود که این برنامه‌ها دارای اهداف کیفی می‌باشند. مانند برنامه توسعه صنایع نفتی یا برنامه توسعه شبکه راه آهن کشوری.

پس از مشخص شدن برنامه‌ها در سطح بلند مدت هر کدام از آن‌ها به برنامه‌ریزی‌هایی میان مدت تقسیم می‌شوند. این کار توسط سیستم اجرایی کشور انجام خواهد شد. در طی این فرآیند این برنامه‌های تاکتیکی به مجموعه‌ای از طرح‌ها یا برنامه‌های اجرایی تقسیم می‌شوند که باید ظرف مدت ۵ تا ۱۰ سال (بیشتر یا کمتر) اجرا شوند و نتایج مورد نظر محقق شود. سپس طرح‌های میان مدت را به برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت تبدیل می‌کنند و در این میان پروژه همان مجموعه کارها و عملیاتی است که برنامه‌های کوتاه مدت نامیده می‌شود. این تفکیک توسط واحدهای ستادی یا سطوح مدیریت میانی نظام اجرایی کشور انجام می‌پذیرد.

بر این اساس پروژه را اینگونه تعریف می‌نماییم:

تعریف ۱.۱. یك پروژه مجموعه‌ای از فعالیت‌هاست که برای دستیابی به منظور یا هدف خاصی انجام می‌گیرد. پروژه‌ها شامل فعالیت‌هایی هستند که باید در زمان‌های مشخص، با هزینه‌هایی معین و کیفیت مشخص شده‌ای به انجام برسند؛ لازمه موفقیت هر پروژه، دستیابی توأم به هر سه عامل زمان، هزینه و کیفیت مشخص است. کمبود یا نقص هر کدام از این سه عامل منجر به شکست پروژه یا غیر اقتصادی بودن پروژه می‌شود.

همچنین تعریف مدیریت پروژه به صورت زیر خواهد بود:

تعریف ۲.۱. [۸] مدیریت پروژه برنامه‌ریزی و هدایت پروژه در چهار چوب زمان، هزینه و کیفیت مشخص به سوی ایجاد نتایج مشخص آن است. مدیریت پروژه فعالیت‌های برنامه‌ریزی، سازماندهی، نظارت بر اجرا و هدایت اجرا را در بر می‌گیرد و سعی دارد تا با استفاده درست از منابع، نتایج مشخص و مورد انتظار را با هزینه توافق شده قبلی در موعد درست خود تحویل دهد. به بیان دیگر مدیریت پروژه به کارگیری دانش، مهارت‌ها، ابزار و تکنیك‌های لازم در اداره جریان اجرای فعالیت‌ها، به منظور رفع نیازها و انتظارات متولیان از اجرای پروژه است. مدیریت پروژه در اجرای این مهم از دو بازوی قدرتمند برنامه‌ریزی و کنترل پروژه بهره می‌گیرد.

برنامه‌ریزی به صورت زیر تعریف می‌شود:

تعریف ۳.۱. [۸] فرآیند برنامه‌ریزی، تعیین توالی و توازی فعالیت‌های لازم برای اجرای یك پروژه با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای اجرای هر فعالیت و کیفیت تعیین شده برای آن فعالیت است.

در نهایت مفهوم کنترل پروژه در تعریف زیر بیان شده است.

تعریف ۱.۴. کنترل پروژه فرآیندی است در جهت حفظ مسیر پروژه برای دستیابی به یك تعادل اقتصادی موجه بین سه عامل هزینه، زمان و کیفیت در حین اجرای پروژه، که از ابزار و تکنیك‌های خاص خود در انجام این مهم کمك می‌گیرد. در واقع کنترل پروژه فرآیندی است که برای تشخیص به موقع مشکلات احتمالی در روند اجرای پروژه طراحی می‌شود. این فرآیند به مدیر پروژه اجازه می‌دهد که مشکلات پیش رو را قبل از بزرگ شدن و زمانی که یک راه حل آسان دارند، شناسایی و برطرف کند.

یک برنامه کنترل خوب باید در پی تحقق سه هدف عمده باشد. اول و مهم‌تر از همه، چنین برنامه‌ای باید معرف درستی از کار باشد و انجام آن را به نحوی هماهنگ با برنامه‌های طرح شده ساخت و مشخصات آن امکان‌پذیر کند. دوم آن‌که، این برنامه باید امکان تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی انحراف‌ها از برنامه زمان‌بندی شده را فراهم کند. در نهایت و سوم این‌که، برنامه کنترلی باید امکان عملیات اصلاحی دوره‌ای را فراهم کند تا بتوان بقیه برنامه زمان‌بندی شده را به طور اقتصادی با برنامه زمان‌بندی شده پیشنهادی همسو کرد [۲].

با توجه به توضیحات فوق، کنترل پروژه مبحثی پرکاربرد در حوزه‌های مختلف است. از جمله این کاربردها می‌توان به کاربردهای آن در پروژه‌های عمرانی، هتلداری، بازرگانی، صنعت و ... اشاره کرد [۳،۷،۹،۱۱،۱۷، ۱۸].

این مقاله در هشت بخش تنظیم شده است که بخش اول آن به مقدمه گذشت. در بخش دوم در مورد کنترل پروژه و مدیریت پروژه توضیحاتی داده می‌شود و تفاوت‌های آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش سوم به بیان ویژگی‌های یک پروژه می‌گذرد. کنترل پروژه در شبکه‌ها و به طور خاص شبکه‌های PN[۱] در بخش چهارم بحث می‌شود. برنامه‌ریزی تخصیص منابع محدود در بخش پنجم مطالعه می‌شود. این بخش شروعی بر دو بخش بعدی است. بخش ششم و هفتم به ترتیب در مورد شبکه‌های احتمالی پرت (PERT)[۲] و گرت (GERT)[۳] مطالبی را ارائه می‌کند. مقایسه دو بخش اخیر در بخش هفتم با جزئیات مطرح می‌شود. در نهایت بخش هشتم با معرفی و مقایسه دو نرم افزار جهت حل مسائل کنترل پروژه این مقاله را به اتمام می‌رساند.

۲. کنترل پروژه و مدیریت پروژه

یکی از شیوه‌های رایج در بررسی وظایف مدیریتی، تقسیم‌بندی آن‌ها به سه دسته برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل است. مثال زیر که مثالی معروف در این حوزه است، به درک بهتر و روشن شدن موضوع کمک می‌کند [۵].

مثال ۱.۲. فرض کنید قرار است به سفری دریایی برویم. در این سفر مبدأ و مقصد کاملاً مشخص است و شناختی سطحی از مسیر حرکت داریم. لذا برنامه‌ریزی ابتدایی را براساس داشته‌ها و برآوردهای خود انجام می‌دهیم. سوالات زیر می‌توانند اساس برنامه‌ریزی و تصمیمات ما بر پایه این برنامه‌ریزی باشند.

---
[۱] Precedence Network

[۲] Program Evaluation and Review Technique

[۳] Graphical Evaluation and Review Technique

چه موقع حرکت را آغاز کنیم؟ چه کسانی را به عنوان اعضای تیم، با خود ببریم؟ چه نقاط توقفی در میان راه داشته باشیم؟ برنامه‌ی زمان‌بندی ما چگونه خواهد بود؟ هزینه‌ی این سفر چقدر است؟ چقدر سوخت می‌خواهیم؟ سایر منابع مورد نیاز چه هستند؟

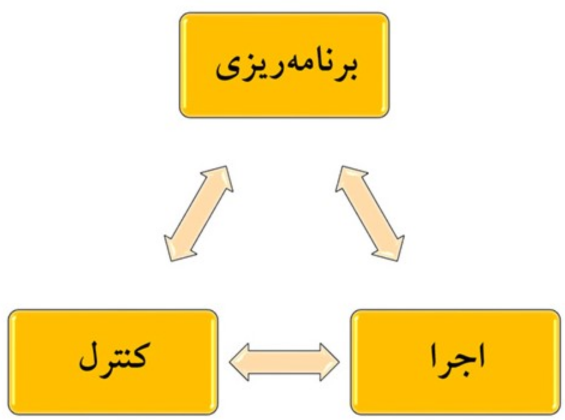
پس از برنامه‌ریزی و پاسخ به سوالات فوق که منجر به تصمیماتی می‌شود، سفر را شروع می‌کنیم. از چالش‌های در طول مسیر، فعالیت‌های اجرایی است که می‌توان گفت خیلی به چشم نمی‌آید و گاهی اوقات افراد بیرون کشتی این فعالیت‌ها را نمی‌بینند و سختی آن را درک نمی‌کنند. در صورتی که انجام موفقیت‌آمیز این سفر در گرو انجام این فعالیت‌هاست. برخی از این فعالیت‌ها به صورت زیر است:

۱- آشنایی با موتور کشتی و کار با آن ۲- تأمین غذای اعضای کشتی ۳- نظافت کشتی ۴- مدیریت اعضای تیم کشتی ۵- تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی.

اما نوع سومی از فعالیت‌ها وجود دارد که غیرقابل اجتناب است. این فعالیت‌ها، فعالیت‌های کنترلی هستند. مثالی از این نوع فعالیت‌ها پاسخ به سوالات زیر است.

الان کجا هستیم؟ بر اساس برنامه، الان باید کجا باشیم؟ اگر وضعیت فعلی را ادامه دهیم، سفر در چه شرایطی (زمان و هزینه) به پایان خواهد رسید؟ برای اصلاح و بهبود وضعیت موجود، چه کاری می‌توانیم انجام دهیم؟

با استفاده از مثال فوق می‌توان نتیجه گرفت که کنترل ارتباط نزدیکی با برنامه‌ریزی و اجرا دارد (شکل ۱ را ببینید). برای کنترل، باید از بخش‌های مختلف اجرایی بازخورد بگیریم. همچنین باید بر اساس بازخوردهای به



شکل ۱: ارتباط بین برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل

دست آمده از تیم اجرایی، داده‌ها، اطلاعات و شاخص‌های خود را دائماً به روز کنیم. ضمن این‌که نباید کورکورانه به برنامه و هدف‌گذاری اولیه وفادار بمانیم. اگر مطمئن هستیم که از برنامه اولیه فاصله گرفته‌ایم و شرایط تغییر کرده است، باید برنامه و مفروضات آن را اصلاح کرده و به واقعیت، نزدیک کنیم. در حقیقت کنترل پروژه از سه عامل زیر بهره می‌برد [۲۱]:

- تعیین وضعیت واقعی پروژه
- مقایسه وضعیت واقعی با برنامه
- در نظر گرفتن اقدامات اصلاحی

اگر فرآیند برنامه‌ریزی به طور کامل طی شده باشد باید بدانیم که مشخصات فنی هر فعالیت چیست، روش اجرای آن چگونه است، به چه منابعی نیاز دارد و زمان و هزینه پیش‌بینی شده اجرای آن چقدر است. از این مرحله به بعد پروژه آماده برای اجراست. اما کار مدیر پروژه به اینجا ختم نمی‌شود، بلکه او وظیفه دارد در حین اجرای پروژه با به کارگیری سیستم‌های کنترلی خاصی به مقایسه و ارزیابی پیش‌بینی‌ها با عملکردهای واقعی پرداخته و در صورت مشاهده اختلافات محسوس، عکس‌العمل‌های مناسب را نشان دهد.

اساساً فرآیند کنترل، عملیات کاهش اختلاف میان طرح برنامه‌ریزی شده و طرح واقعی در حال اجراست. کنترل از یک سو با برنامه‌ریزی و از سوی دیگر با اجرای پروژه به طور پویا در ارتباط است. معمولاً فرآیند کنترل روی چهار جزء یک پروژه یعنی محدوده، کیفیت، هزینه و زمان پروژه صورت می‌گیرد. نمونه‌هایی از دلایل نیاز به کنترل در ذیل آمده است.

(۱) مشکلات فنی که به صورت غیر منتظره پیش می‌آیند.
(۲) خواسته‌های مشتریان در مشخصات سیستم تغییر می‌یابد.
(۳) توالی فعالیت‌ها کمی ناصحیح تعیین شده و یا نوع روابط وابستگی به درستی تعریف نشده‌اند.
(۴) فعالیت‌های پیشنیازی در زمان لازم تکمیل نشده‌اند و یا برخی از آن‌ها از قلم افتاده‌اند.
(۵) مواد و منابع مصرفی زمانی که مورد نیاز بوده‌اند، در دسترس قرار نداشته‌اند.
(۶) پیش‌بینی زمان، منابع و هزینه اجرای فعالیت‌ها مخصوصاً در حالات نرمال و فشرده به درستی صورت نگرفته است.
(۷) به علت مشکلات فنی، برخی فعالیت‌ها به منابع بیشتری احتیاج پیدا نموده‌اند.
(۸) محدوده و قلمرو پروژه بسط داده شده است.
(۹) ضعف تشکیلاتی سازمان پروژه و عدم تناسب اختیارات با مسئولیت‌ها وجود دارد.

به طور خلاصه سه تفاوت اساسی بین کنترل پروژه و مدیریت پروژه وجود دارد. یکی از تفاوت‌های کلیدی این است که کنترل پروژه زیرمجموعه مدیریت پروژه با تمرکز اصلی بر مدیریت هزینه و برنامه پروژه است. یکی دیگر از تفاوت‌های کلیدی بین مدیر پروژه و کنترل کننده پروژه این است که مدیر پروژه کار تیم پروژه را هدایت می‌کند در حالی که کنترل‌کننده پروژه به تیم و مدیر پروژه مسائل مربوط به هزینه‌ها و برنامه‌های احتمالی/برنامه‌های بازیابی را توصیه می‌کند. کنترل‌کننده پروژه به عنوان یک مشاور عمل می‌کند که توصیه‌های لازم را برای مدیریت پروژه ارائه می‌دهد و به تیم‌ها در استراتژی‌های مختلف و برنامه‌های بازیابی کمک می‌کند تا هزینه‌های پروژه و برنامه را به مسیر بازگردانند. وی اطلاعات، نمودارها، داده‌ها و گزارش‌هایی ارائه می‌دهد که کمک می‌کند پروژه و آنچه می‌توانیم در مورد هزینه و وضعیت برنامه پروژه انجام دهیم را مدیریت کنیم. بنابراین کنترل‌کننده پروژه

تنها به عنوان یک مشاور عمل می‌کند. یکی دیگر از تفاوت‌های کلیدی بین کنترل‌کننده پروژه و مدیریت پروژه این است که کنترل کننده پروژه اطلاعات هزینه/برنامه پروژه را تولید می‌کند، در حالی که مدیر پروژه اطلاعات تولید شده را به مصرف می‌رساند و تصمیمات را برای پروژه می‌گیرد. بنابراین، کنترل‌کننده پروژه در تصمیم‌گیری برای این پروژه قرار ندارد. او اطلاعات را به مدیر پروژه و تیم ارائه می‌دهد و مدیر پروژه بر اساس اطلاعات ارائه شده و بر اساس پیشنهادات وی تصمیم می‌گیرد.

۳. ویژگی‌های یک پروژه

هر پروژه دارای ۶ ویژگی اصلی به شرح زیر است [۱].

پروژه یک کار منحصربه‌فرد، جدید و غیرتکراری است. هنگام دسته‌بندی روش‌های برنامه‌ریزی تولید اگر کار دارای ویژگی منحصربه‌فرد بودن باشد آن را پروژه نامیده و از روش‌های برنامه‌ریزی و کنترل پروژه برای برنامه‌ریزی آن استفاده می‌شود. اما اگر کار به صورت متناوب انجام شود آن را یک فرآیند تجاری یا تولیدی نامیده و از روش‌های برنامه‌ریزی تولید برای برنامه‌ریزی و مدل‌سازی آن استفاده می‌شود.

پروژه برای تحقق یک نتیجه عینی انجام می‌شود که بعد از اتمام پروژه این نتیجه در قالب یک محصول، ارائه خدمت یا تعهد باید به طور مشهود قابل تحویل باشد. نتیجه یک پروژه باید به صورت یک یا چند قلم قابل تحویل مشهود باشد. برای مثال اگر پروژه مربوط به ساخت یک برج مثل برج میلاد باشد در پایان کار باید برج مذکور با مشخصات از قبل تعیین شده مشهود و قابل تحویل به کارفرما یا مشتری باشد.

پروژه موقتی است، یک نقطه شروع و پایان مشخص داشته و زمان آن نامحدود نیست. به کاری پروژه اطلاق می‌شود که از نقطه زمانی تعریفی شروع شده و در نقطه زمانی خاصی پایان پذیرد. پروژه ممکن است ۶ ماه، ۱، ۳ یا ۱۰ سال طول بکشد ولی بالاخره به اتمام می‌رسد. بنابراین فرآیند ساخت یک سد پروژه است اما بهره‌برداری از آن پروژه نیست زیرا علاوه بر تکراری بودن پایانی ندارد.

هر یک از فعالیت‌های پروژه نیازمند منابع کاری و مصرفی مختلفی هستند. منابع به طور کلی به دو دسته منابع کاری که به آن منابع تجدیدپذیر نیز می‌گویند و منابع مصرفی یا منابع تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. منابع کاری شامل نیروی انسانی، ماشین آلات و تجهیزات می‌باشد که به هر فعالیت تعداد مشخصی تخصیص می‌یابد و انجام فعالیت به عهده آن‌هاست. معمولاً ماهیت منابع کاری به گونه‌ای است که با اتمام یک فعالیت یا بسته کاری منابع تخصیص داده شده به آن آزاد یا بیکار می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به سایر فعالیت‌ها تخصیص داد.

بودجه پروژه محدود و قابل پیش‌بینی است و باید یک حمایت کننده مالی داشته باشد. بودجه پروژه از طریق جمع بودجه مورد نیاز برای هر یک از تحویل شدنی‌ها قابل پیش‌بینی و محاسبه می‌باشد. بخش عمده این هزینه‌ها معمولاً مربوط به منابع کاری و مصرفی تخصیص یافته به فعالیت‌ها است. برای تأمین این هزینه‌ها

وجود یک حمایت کننده اولیه مالی ضروری است. حمایت کننده مالی پروژه ممکن است کارفرما یا مشتری پروژه بوده و یا سازمان مستقلی باشد.

در بخش‌های بعدی سعی می‌کنیم تا با مباحث پیشرفته‌تر کنترل پروژه آشنا شویم. تعاریف مقدماتی از هر بحث آورده می‌شود تا خواننده با کنترل پروژه روی شبکه‌ها آشنایی پیدا کند.

۴. کنترل پروژه در شبکه

برای مدیریت پروژه یکی از روش‌های مرسوم استفاده از شبکه فعالیت‌هاست. روش‌های رسم شبکه توسط دو نوع نمایش فعالیت‌ها روی گره (AON)[۴] و نمایش فعالیت‌ها روی کمان (AOA)[۵] توصیف می‌شود. در نمایش AON هر فعالیت را به صورت یک گره که معمولاً مستطیل است و روابط بین آن‌ها را به وسیله پیکان‌ها با خطوط توپر نشان می‌دهیم. در نمایش AOA فعالیت‌ها منحصر به شکل گره‌ای نیست بلکه می‌توان فعالیت‌ها و وابستگی‌های بین آن‌ها را به روش شبکه برداری یا سیستم فعالیت روی کمان نشان داد [۱۶]. از آنجایی که مدت زمان هر فعالیت عنصر پایه بسیاری از محاسبات در شبکه را تشکیل می‌دهد، برآورد صحیح آن نقش مهمی در سایر برآوردها و محاسبات بعدی بازی می‌کند. برآورد مدت زمان اجرای هر فعالیت و افزودن آن به مدل شبکه معمولاً بعد از فاز اول یعنی طرح‌ریزی منطق اجرای پروژه صورت می‌گیرد.

در جریان محاسبات زمانی، که به آن روش مسیر بحرانی (CPM)[۶] گویند، زودترین و دیرترین زمان وقوع رویدادها، فرجه فعالیت‌ها و مسیر بحرانی پروژه محاسبه می‌شوند [۴].

۱.۴ محاسبات مسیر پیشرو و پسرو این محاسبات از گره اول در شبکه شروع شده به سمت گره آخر پیش می‌رود و در طی آن زودترین زمان وقوع هر رویداد، زودترین زمان شروع هر فعالیت و نیز زودترین زمان پایان هر فعالیت را می‌توان محاسبه نمود. برعکس در محاسبات روش پسرو از گره آخر در شبکه شروع شده در حرکت پسرو به سمت گره اول ادامه می‌یابد و در طی آن دیرترین زمان وقوع هر رویداد، دیرترین زمان پایان هر فعالیت و دیرترین زمان شروع هر فعالیت را می‌توان محاسبه نمود.

۲.۴ شبکه‌های PN یکی از محدودیت‌های شبکه‌های برداری AOA این است که در آن‌ها تنها یک رابطه وابستگی یا تقدم–تأخر مجاز دانسته شده است و آن این که شروع هر فعالیت فقط وقتی ممکن است که کلیه فعالیت‌های پیشنیازی آن پایان یافته باشند. موارد بسیاری در عمل وجود دارد که در آن ماهیت یک فعالیت به گونه‌ای است که شروع آن صرفاً وابسته به پایان فعالیت یا فعالیت‌های پیشنیازی نیست بلکه شروع آن بعد از گذشت مدتی از شروع فعالیت پیشنیازی می‌تواند تحقق یابد و یا ممکن است محدودیتی برای شروع آن وجود نداشته باشد ولی پایان آن لازم است بعد از گذشت مدتی از پایان فعالیت پیشنیازی باشد و روابطی

[۴] Activity On Node

[۵] Activity On Arcs

[۶] Critical Path Method

از این قبیل. در نتیجه در بسیاری از پروژه‌ها معمولاً انواع دیگری از وابستگی‌های زمانی بین فعالیت‌ها لازم می‌شود که شبکه‌های برداری به طور مؤثر قادر به مدل‌سازی آن‌ها نیست و باید با استفاده از شبکه‌های PN آن‌ها را مدل‌سازی نمود. در شبکه‌های PN که به آن‌ها شبکه‌های تقدم-تأخری نیز می‌گویند علاوه بر این که نوع روابط وابستگی بین فعالیت‌ها نسبت به شبکه‌های برداری گسترده‌تر است، نحوه نمایش شبکه آن نیز به روش گره‌ای AON است [۱۳،۱۴].

۵. برنامه‌ریزی تخصیص منابع محدود

در بخش‌های قبلی توضیح داده شد که منابع به دو دسته منابع کاری که به آن منابع تجدیدپذیر نیز می‌گویند و منابع مصرفی یا منابع تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند. معمولاً ماهیت منابع کاری به گونه‌ای است که با اتمام یک فعالیت یا بسته کاری منابع تخصیص داده شده به آن آزاد یا بیکار می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به سایر فعالیت‌ها تخصیص داد. همچنین ماهیت منابع مصرفی به گونه‌ای است که با اتمام یک فعالیت یا بسته کاری مقدار منابع مصرفی پیش‌بینی شده برای انجام آن فعالیت مصرف شده و به اتمام می‌رسد. در دو بخش قبل برای انجام محاسبات زمانی فرض بر این بود که منابع مورد نیاز به اندازه کافی در دسترس می‌باشند. به همین خاطر اثر منابع در برنامه زمانی در نظر گرفته نشد. در حالی که همیشه این طور نیست. یعنی ممکن است از هر نوع منبع تعداد محدودی در دسترس باشد و بخواهیم پروژه را با همین تعداد منابع انجام دهیم. واضح است که اگر محدودیت منابع وجود داشته باشد دیگر نمی‌توان شروع فعالیت‌ها را بر حسب زودترین زمان شروع برنامه‌ریزی کرد. حال این سؤال مطرح می‌گردد که زمان شروع فعالیت‌ها با در نظر گرفتن محدودیت منابع و روابط وابستگی بین فعالیت‌ها چگونه باشد تا پروژه با حداقل تأخیر ممکن نسبت به زمان اتمام محاسبه شده به پایان برسد. این مفهوم تحت عنوان مسئله برنامه‌ریزی تخصیص منابع محدود RCPSP[۷] مطرح می‌شود.

با توجه به توضیحات فوق برنامه‌ریزی تخصیص منابع محدود دسته‌ای از مسائل هستند که در آن‌ها منابع در یک پروژه محدود هستند و می‌توان ادعا کرد که این نوع از مسائل به پروژه‌های دنیای واقعی بیشتر نزدیک است. روش‌های متعددی برای برنامه‌ریزی این نوع مسائل وجود دارد اما می‌توان آن‌ها را به چهار دسته زیر تقسیم کرد [۱۵، ۲۰].

چهار دسته روش‌های RCPSP در زیر آمده‌اند:

(۱) روش‌های دقیق مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی صفر و یک. این روش‌ها جواب بهینه را بدست می‌آورند اما به کارگیری آن‌ها برای مسائل بزرگ (بیش از ۱۰۰ فعالیت) با زمان پردازش قابل قبولی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

(۲) روش‌های دقیق مبتنی بر شاخه و کران و طرح‌های شمارشی. این روش‌ها نیز جواب بهینه را می‌دهند اما برای مسائل کوچک کاربرد دارند.

---

۷ Resource Constrained Project Scheduling Problem

(۳) روش‌های ابتکاری مبتنی بر قوانین اولویت‌بندی. این روش‌ها جواب موجه یا شدنی را ارائه می‌دهند که معمولاً بهینه نیست. زمان پردازش آن‌ها روی کامپیوتر معمولاً سریع‌تر از سایر روش‌هاست. به همین خاطر برای مسائل بزرگ کاربرد دارند.

(۴) روش‌های فراابتکاری. این روش‌ها شامل الگوریتم ژنتیک، انواع جستجوها، شبکه عصبی و ... هستند که تلاش می‌کنند جوابی شدنی و نزدیک به بهینه با زمان پردازش نسبتاً معقول ارائه دهند.

منطق روش‌های فراابتکاری به دو دسته زیر قابل تقسیم است:

- روش‌های ایجادی: روش‌هایی که از یک برنامه خالی شروع شده و فعالیت‌ها را یکی یکی اضافه نموده تا این‌که یک برنامه شدنی حاصل شود.
- روش‌های بهبود دهنده: از یک برنامه شدنی که قبلاً توسط یکی از روش‌های ایجادی به وجود آمده شروع نموده و سعی در بهبود آن دارند.

۶. شبکه‌های احتمالی PERT

تقریباً بیشتر روش‌های مدیریت پروژه که تا به حال مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توسط وزارت دفاع، صنایع نظامی و سازمان هوا فضای ایالات متحده در خلال سال‌های دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی ابداع شده و توسعه یافته‌اند که روش‌هایی همچون روش PERT از آن جمله‌اند. صنعت ساختمان نیز در تکوین و توسعه روش‌هایی همچون روش مسیر بحرانی استفاده از نمودار شبکه‌ای و تسطیح منابع یاری رسانده است. در جریان ساخت اولین زیردریایی هسته‌ای آمریکا در سال ۱۹۵۰، برای نخستین بار جهت هماهنگ کردن صدها پیمانکار، هزاران منبع و اطمینان از اجرای به موقع پروژه، روشی جدید که امروزه با نام PERT شناخته می‌شود، ابداع شد. هر چند بدون وجود کامپیوتر عملیات دستی محاسبه مسیر بحرانی بسیار دشوار بود اما کمك بسیار زیاد این روش و اجرای موفقیت‌آمیز پروژه مذکور موجب شد تا همگان به اهمیت علم جدید پی ببرند. این روش بعد از آن در چندین پروژه بزرگ مورد استفاده قرار گرفت و موفقیت‌های چشم‌گیری را رقم زد.

شبکه‌های PERT یا فن ارزیابی و بازنگری پروژه برای حالاتی است که زمان فعالیت‌ها احتمالی هستند. تاکنون فرض بر این بود که زمان انجام هر یک از فعالیت‌ها قطعی است. به عبارت دیگر سعی بر آن بود تا با توجه به ماهیت و دقت پروژه برای انجام هر یک از فعالیت‌ها یک زمان قطعی برآورد شود و از حالات احتمالی پرهیز می‌شد. با توجه به این که عوامل متعددی در برآورد صحیح زمان یک فعالیت نقش دارند، تعیین زمان قطعی و دقیق آن همیشه ممکن نیست. مخصوصاً برای فعالیت‌هایی که برای اولین بار اجرا می‌شوند و تجربه خاصی از گذشته در مورد آن‌ها وجود ندارد. هر چند در حالاتی که تخمین‌ها دقیق نباشد نیز می‌توانیم زمان فعالیت‌ها را قطعی فرض نموده و در عوض در حین اجرا تغییرات احتمالی را اعمال کرده و پروژه را به‌هنگام کنیم. اما گاه نیاز است که گزارش‌ها و اطلاعات آماری دقیقی به مدیریت رده بالا داده شود. اطلاعاتی که بتواند به سؤالات زیر که در واقع خواسته‌های ما از PERT است پاسخ دهد [۱۰،۱۲].

(۱) زمان مورد انتظار و واریانس اتمام پروژه چقدر است؟
(۲) با چه احتمالی پروژه در زمان مشخص به اتمام می‌رسد؟
(۳) با اطمینان فرضاً ۹۵ درصد پروژه در چه زمانی به اتمام می‌رسد؟
(۴) احتمال این که یک رویداد خاص فرجه‌ای به اندازه مشخص داشته باشد چیست؟
(۵) اگر بدانیم رویداد مشخصی قطعاً در زمان معینی شروع شده است چه تغییری در پاسخ سؤالات ۱ و ۲ فوق به وجود می‌آید؟

مسلم است که اگر از ابتدا یک زمان متوسط را به عنوان زمان قطعی یک فعالیت در نظر بگیریم و بخواهیم تغییرات احتمالی بعدی را از فرآیند به‌هنگام‌سازی اعمال کنیم دیگر قادر به پاسخ سؤالات آماری فوق نخواهیم بود. از طرفی اشکال دیگر این کار این است که هیچ فرقی بین فعالیتی که اجرای آن ممکن است بین ۳ تا ۱۷ روز طول بکشد با فعالیتی که اجرای آن ممکن است بین ۹ تا ۱۱ روز به طول بیانجامد قائل نمی‌شود و هر دو فعالیت را با در نظر گرفتن مدت متوسط زمان انجام ۱۰ روز برنامه‌ریزی می‌کند. لذا در شبکه‌های PERT زمان هر فعالیت را از ابتدا احتمالی در نظر می‌گیرند تا اثر واریانس زمان هر فعالیت نیز در محاسبات لحاظ گردد.

۷. شبکه‌های GERT

نظریات و تحقیقات دانشمندان مختلف منجر به توسعه فن گرافیکی شد که آن را GERT یا فن تکنیک ارزیابی و بازنگری گرافیکی نامیدند. گرت روشی مرکب از تئوری فلوگراف، توابع مولد گشتاور و پرت، جهت حل مسائل احتمالی می‌باشد. این روش تجزیه و تحلیل سیستم‌ها و مسائل پیچیده را امکان‌پذیر می‌سازد. یک شبکه GERT از مجموعه‌ای از رویدادها و فعالیت‌ها که برای تشکیل مدل یک سیستم به صورت منطقی به یکدیگر می‌پیوندند به وجود می‌آید، اما کلیه محدودیت‌هایی که در شبکه‌های CPM و PERT وجود داشت در شبکه‌های GERT وجود نداشته و بنابراین همه آن حالات را می‌توان مدل‌سازی نمود. به بیان دیگر برنامه‌ریزی خطی حالت خاصی از شبکه‌های GERT هستند. بنابراین هر چند که جمع‌آوری اطلاعات این‌گونه شبکه‌ها مشکل است اما کاربرد آن بسیار بالاست. برای آشنایی بیشتر به مقایسه شبکه‌های PERT و GERT می‌پردازیم [۶،۱۹].

۱.۷ مقایسه شبکه‌های GERT و PERT

(۱) در شبکه‌های گرت نیز مانند شبکه‌های برداری هر فعالیت روی یک پیکان یا شاخه مانند شکل ۲ نشان داده می‌شود با این تفاوت که هر فعالیت شبکه گرت دارای دو پارامتر است که می‌توان روی فعالیت نشان داد. این دو پارامتر عبارتند از:

P_{ij}: احتمال وقوع گره j به شرط آنکه i به وقوع پیوسته باشد.

$f_{ij}(t)$: تابعی از زمان مورد نیاز برای تکمیل فعالیتی که با شاخه $i-j$ نشان داده شده است.



شکل ۲: نحوه نمایش یک فعالیت شبکه گرت به همراه دو پارامتر آن

(۲) در شبکه‌های پرت تابع چگالی احتمال زمان فعالیت‌ها تنها محدود به توزیع سه پارامتری بتا است ولی در شبکه‌های گرت می‌توان از بسیاری از توابع توزیع برای معرفی پارامتر زمان یک فعالیت استفاده نمود. ضمناً هر کدام از فعالیت‌های یک شبکه می‌توانند یک تابع توزیع جداگانه داشته باشند و لازم نیست همه آن‌ها فقط از یک تابع توزیع پیروی کنند.

(۳) انشعاب‌های احتمالی در شبکه‌های گرت مجاز است. در شبکه‌های CPM و پرت تمام فعالیت‌ها باید اجرا شوند. بنابراین کلیه فعالیت‌های منشعب شده از یک گره قطعی است و تمام آن‌ها باید انجام شوند. در یک شبکه گرت ممکن است تعدادی از گره‌ها دارای انشعاب‌های احتمالی و تعدادی دارای انشعاب‌های قطعی باشند.

(۴) ایجاد حلقه در شبکه‌های گرت مجاز است. در شبکه‌های CPM و پرت ایجاد هرگونه حلقه غیرمجاز است. بنابراین در این شبکه‌ها یک فعالیت نه می‌تواند تکرار شود و نه به رویدادی که قبلاً تحقق یافته است ختم گردد ولی در شبکه‌های گرت ایجاد هرگونه حلقه مانعی ندارد. این قابلیت بیانگر این است که بعضی از فعالیت‌ها می‌توانند تکرار شوند و بعضی از رویدادها نیز می‌توانند بیش از یک بار تحقق یابند.

(۵) در شبکه‌های CPM و پرت قبل از آن که یک رویداد بتواند تحقق یابد، باید تمام فعالیت‌هایی که به آن رویداد ختم می‌شوند به اتمام برسند. همچنین هیچ رویدادی نمی‌تواند بیش از یک بار تحقق یابد. در گرت تحقق یک رویداد را می‌توان به گونه‌ای تعریف کرد که با اتمام یک یا چند فعالیت که به آن رویداد ختم می‌شوند تحقق رویداد امکان‌پذیر گردد.

(۶) در یک شبکه پرت فقط یک رویداد شروع و یک رویداد نهایی که بیانگر پایان پروژه است تعریف می‌گردد. اما در یک شبکه گرت وجود چند رویداد شروع و چند رویداد نهایی مجاز است و بدین ترتیب مدل شبکه‌ای گرت قادر است بسیاری از وضعیت‌های واقعی را که چنین نیازی برای آن‌ها وجود دارد مدل‌سازی کند.

(۷) در رسم شبکه‌های گرت از شکل‌های مختلف گره برای نشان دادن نوع رویداد استفاده می‌شود. در یک شبکه احتمالی گره متشکل از دو وجه، یکی ورودی و دیگری خروجی می‌باشد. به طور کلی سه رابطه منطقی برای ورودی و دو رابطه منطقی برای خروجی در نظر گرفته می‌شود.

۸. نرم افزارهای کنترل پروژه

در این بخش به معرفی دو نرم افزار برای حل مسائل کنترل پروژه و ویژگی‌های آن‌ها می‌پردازیم.

نرم افزارهای Oracle Primavera و MsProject هر دو نرم افزارهایی هستند که در دسته نرم افزارهای مهندسی صنایع دسته‌بندی می‌شوند ولی در کل برای کنترل و مدیریت کلیه پروژه‌ها به کار می‌روند. هدف بیان ویژگی‌ها و خصوصیات منحصر به فرد و قابل توجه هر یک از دو نرم افزار پریماورا و ام اس پروجکت است.

اگر چه نرم افزارهای پریماورا و ام اس پروجکت هر دو به منظور مدیریت جامع پروژه‌های عظیم طراحی شده‌اند ولی در واقع پریماورا قابلیت کنترل پروژه‌های عظیم را دارد و ام اس پروجکت برای مدیریت پروژه‌های کوچکتر به کار می‌رود. ام اس پروجکت امکان ایجاد تنها ۱۱ عدد Baseline را برای یک پروژه واحد به کاربر می‌دهد. این در حالی است که این مقدار برای پریماورا نامحدود است. پلتفرم چند کاربره از ویژگی‌های هر دو نرم افزار می‌باشد ولی در نرم افزار پریماورا چندین کاربر به صورت همزمان می‌توانند روی یک پروژه واحد کار کنند در حالی که ام اس پروجکت پروژه را در هنگامی که یک کاربر در حال ویرایش و یا افزودن اطلاعات است، بر روی سایر کاربران مجاز قفل می‌کند. از دیگر قابلیت‌های پریماورا در این زمینه، امکان تعریف سقف مجاز دسترسی هر کاربر در یک پروژه است. ایجاد تقویم سفارشی بر اساس منابع و پروژه، خصوصیتی است که هر دو نرم افزار دارند ولی امکان ثبت دستاوردها و وقایع روزانه در تقویم ام اس پروجکت قابلیتی است که تنها به صورت دستی در پریماورا امکان‌پذیر می‌باشد. قابلیت پیش‌بینی ریسک‌های احتمالی پروژه، تبدیل مستقیم اطلاعات پروژه به HTML به منظور اشتراک‌گذاری در وب و همچنین مشخص کردن کارهایی که حداکثر تا یک ماه آینده باید انجام پذیرد به رنگ زرد، از جمله مواردی است که در پلتفرم پریماورا به صورت پیش فرض موجود و برخی در صورت ارتقای نرم افزار ام اس پروجکت در این نرم افزار قابل اجراست. تفاوت‌های جزئی زیادی بین این دو نرم افزار مهندسی وجود دارد ولی در کل انتخاب نرم افزار مطلوب بیش از همه به نیازهای سازمانی و نوع پروژه‌ای بستگی دارد که روی آن کار می‌کنیم.

مراجع

[۱] م. سبزه پرور، *کنترل پروژه به روش گام به گام*، انتشارات ترمه، چاپ پانزدهم، تهران، ۱۳۹۱.

[۲] ر.ب. هریس، *برنامه‌ریزی شبکه‌ای*، ترجمه محمدتقی بانکی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۶۷.

[3] H. Akkermans and K.E. van Oorschot, *Pilot Error? Managerial decision biases as explanation for disruptions in aircraft development,* Project Manag. J. **47** (2016), no. 2, 79–102.

[4] A.M. Aliyu, *Project management using critical path method (CPM): A pragmatic study,* Global J. Pure Applied Sci. **18** (2012), no. 3-4, 197–206.

[5] J. Averous, *Practical Project Control Manager, Handbook,* Fourth Revolution Publishing, Singapore, 2016.

[6] A. Azaron and S. Aref, *The use of a GERT based method to model concurrent product development processes,* European J. Oper. Res. **250** (2016), no. 2, 566–578.

[7] J. Delisle, *Working time in multi-project settings: How project workers manage work overload,* Internat. J. Project Manag. **38** (2020), no. 7, 419–428.

[8] W.E. Deming, *Out of the Crisis,* MIT Press, Cambridge, MA, 2000.

[9] K. Jugdev, G. Mathur and T. Fung, *Mediated effect of project management asset characteristics on firm performance,* Internat. J. Managing Projects in Business, **13** (2019), no. 7, 1442–1464.

[10] H. Kuklan, E. Erdem, F. Nasri and M.J. Paknejad, *Project planning and control: an enhanced PERT network,* Internat. J. Project Manag. **11** (1993), no. 2, 87–92.

[11] J. Li, O. Moselhi and S. Alkass, *Internet-based database management system for project control,* Eng. Const. Arch. Manag. **13** (2006), no. 3, 242–253.

[12] A. Mishakova, A. Vakhrushkina, V. Murgul and T. Sazonova, *Project control based on a mutual application of pert and earned value management methods,* Procedia Eng. **165** (2016) 1812–1817.

[13] J. Nisar and S. Halim, *The effect of critical activity on critical path and project duration in precedence diagram method,* Internat. J. Struct. Const. Eng. **12** (2018), no. 9, 837–843.

[14] S.A. Nisar and K. Suzuki, *Critical activity analysis in precedence diagram method scheduling network,* In: de Werra D., Parlier G., Vitoriano B. (Eds.) Operations Research and Enterprise Systems. ICORES 2015, pp. 314–322, Communications in Computer and Information Science 577, Springer, Cham, 2015.

[15] S. Noori and K. Taghizadeh, *Multi-mode resource constrained project scheduling problem: A survey of variants, extensions, and methods,* Internat. J. Indust. Eng. Product. Res. **29** (2018), no. 3, 293–320.

[16] N. Perrier, S.E. Benbrahim and R. Pellerin, *The core processes of project control: A network analysis,* Procedia Comput. Sci. **138** (2018) 697–704.

[17] R. Picciotto, *Towards a new project management movement? An international development perspective,* Internat. J. Project Manag. **38** (2020), no. 8, 474–485.

[18] D. Rezania, R. Baker and R. Burga, *Project control: an exploratory study of levers of control in the context of managing projects,* J. Account. Organiz. Change **12** (2016), no. 4, 614–635.

[19] L. Tao, D. Wu, S. Liu and J.H. Lambert, *Schedule risk analysis for new-product development: The GERT method extended by a characteristic function,* Reliab. Eng. Syst. Safety **167** (2017) 464–473.

[20] M. Vanhoucke, *Tolerance limits for project control: An overview of different approaches,* Comput. Indust. Eng. **127** (2019) 467–479.

[21] https://memory.ai/timely-blog/the-importance-of-project-control-in-project-management